

CÁLCULOS PRECISOS DE GPS. SOLUCIONES DIARIAS Y PRODUCTOS AÑADIDOS

Joaquín Zurutuza de Geolan Donosti SL y M.J. Sevilla Universidad Complutense de Madrid.

Zurutuza, J. and M. J. Sevilla. Cálculos precisos GPS: soluciones diarias y productos añadidos. *Mapping*, nº 107, pp. 1-10, 2006.

1.- Introducción y objetivos.

La determinación y el análisis de series temporales de observaciones es una de las tareas de mayor importancia en las redes GPS permanentes. En el cálculo de las series temporales hay que partir de las coordenadas de las estaciones obtenidas a lo largo de un intervalo más o menos largo de tiempo. Para obtener un correcto análisis temporal, será imprescindible disponer de coordenadas precisas en toda la serie objeto de análisis. El procedimiento más habitual para ello es la determinación de coordenadas diarias mediante unos parámetros, que serán definidos posteriormente.

Este artículo trata sobre la determinación de coordenadas precisas diarias y de los procesos de automatización para la obtención de dichas coordenadas. Como ejemplo, se presentan los resultados parciales de una red GPS (cortesía de la Diputación Foral de Gipuzkoa: b5m.gipuzkoa.net), donde se están aplicando los programas y metodologías de cálculo descritas en este artículo. Asimismo, se da un avance de los trabajos de automatización realizados por la empresa GEOLAN DONOSTI SL en relación con las estaciones GPS permanentes. Si bien lo aquí expuesto está operativo para uso interno, se está planteando la posibilidad de ofrecer los servicios a la comunidad de usuarios GPS.

Los objetivos perseguidos son varios, destacando la determinación de coordenadas diarias para obtener series temporales y la automatización de este procedimiento. Adicionalmente se está desarrollando una aplicación informática para determinar vectores GPS por medio de Internet (vía ftp para usuarios registrados ó vía http para usuarios no registrados). Todos los resultados se obtienen en el marco ITRF00 (Altamimi et al., 2002), referidos a la época de observación.

2.- Zona de estudio. Trabajos previos.

La red objeto de estudio está enclavada en el Territorio Histórico de Gipuzkoa (Figura 1). A la instalación de un receptor GPS en 1997 con fines de posicionamiento, en 2002, siguió la de una red de estaciones GPS activas y pasivas (Zurutuza et al., 2004) la cual cumple con dos objetivos principales: servir de marco geodésico posicional de referencia para los trabajos de índole geodésica realizados en Gipuzkoa y servir de modelo para transformar coordenadas entre los distintos Sistemas de Referencia actuales (ED50<->ETRS89<->ITRF00).

La red se observó entre Octubre y Noviembre de 2002, en una campaña de 15 días de duración, en la cual se observaron los 21 vértices integrantes de la red GPS en sesiones de unas 8 horas de duración con 6 receptores bifrecuencia, además de la estación permanente, siendo observado, cada vértice, un mínimo de 2 sesiones. Las precisiones obtenidas para los vértices de la citada red están en torno a los 2 cm en todas las componentes, en marco ITRF00. Los vértices que conforman dicha red pertenecen, bien a la ROI (Diputación Foral de Gipuzkoa), o bien a REGENTE, perteneciente al IGN (Regidor et al., 2000).

Red de estaciones GPS activas y pasiva de Gipuzkoa.



Una vez que se estableció la Red de estaciones GPS activa y pasivas, debido a las precisiones obtenidas, se vió la necesidad, por un lado, de facilitar al usuario el posicionamiento GPS y, por otro la de conocer con la mayor precisión posible las velocidades de las estaciones del Territorio. En este aspecto, cuatro de las estaciones pertenecientes a la red pasiva han sido reobservados en 2005 y están siendo analizadas.

Por este motivo, en una segunda fase, se han establecido un total de 3 estaciones GPS con carácter permanente. Con éstas, la distancia máxima a la que un usuario dispone de una estación de referencia es menor de 30 km.

3.- Parámetros generales.

En la práctica totalidad de Europa es posible disponer de una estación IGS (www.igsb.jpl.nasa.gov) en una distancia inferior a 500 km.



Red de Estaciones IGS.

Nuestro principal objetivo será, por tanto, la determinación de coordenadas con repetibilidades diarias en torno a los 2 cm o mejor para 500 km. Los parámetros adoptados para el cálculo de precisión son:

FRECUENCIA: ION-FREE (L3)
 INTERVALO: 30 (SEG)
 ELEVACION: 15 (DEGREES)
 INTERVALO TROP.: 10800 (SEG) [PIECE-WISE LINEAR PARAMETRIZ.]
 INTERVALO X e Y POLO : N/A
 INTERVALO UT1: N/A
 DD CORRELADAS: SI

EFEMERIDES PRECISAS: SI
 MARCO DE REFERENCIA: IGS00
 CARGA OCEANICA: ESTANDARD (DE LA BASES DE DATOS IGS)
 PWL RAD PR : INTERVALO AUTOMATICO
 DIAGNOSTICOS
 MAXIMO TIEMPO ENTRE DATOS = 540.000 SEG
 VALOR LIMITE = 0.100 M
 CORRECCION DE ROTACION RHC = SI
 FACTORES DE PRESION DE RADIACION= 2
 MODELO DE MAREA TERRESTRE = IERS
 MODELO TROP. = NMF (NIELL MAPPING FUNCTION)
 TIEMPO MINIMO EOP MODEL = 86400.000 SEG

Estos parámetros se aplican en sesiones de 24 h. Las estaciones objeto de estudio se muestran, tanto en marco europeo como en marco local, en las figuras 2 y 3 respectivamente.



Estaciones IGS de Referencia.



Estaciones Calculadas. En gris la Red de Euskadi

Las estaciones IGS consideradas como fuertemente constreñidas (0.0001 m en cada componente) son SFER, MAD2, EBRE y BRUS, mientras que las estaciones objeto de cálculo son ELGE, IGEL, LAZK, CANT y RIOJ. Es importante destacar que esta configuración, pese a dar resultados de gran calidad, está sujeta a cambios, ya que existe una línea de investigación abierta acerca de las estaciones a fijar. Además, en un futuro inmediato será necesario añadir más estaciones a las ya existentes. Los vectores a procesar son determinados mediante el algoritmo "mínimo camino", calculándose los no triviales o linealmente independientes (Craymer et al., 1992). La solución calculada es con la combinación lineal L3 también conocida como "libre de ionosfera" (Leick, 1994) fija, si es posible, o flotante en caso contrario.

En las figuras siguientes se adjuntan los datos recogidos durante un día completo en la estación de Elgeta (ELGE). Concretamente, la figura 4 muestra los datos observados en sí. Las figuras 5 y 6 muestran la relación señal/ruido para L1 y L2 respectivamente.



Figura 4: Vuelta de Horizonte de ELGE

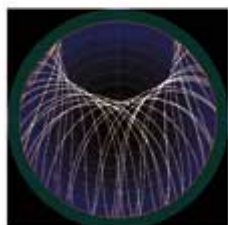


Figura 5: S/N L1

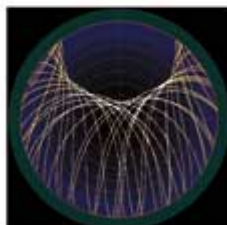


Figura 6: S/N L2

4.- Procesamiento "online".

El aumento de la velocidad de las conexiones a internet ha facilitado la profusión de herramientas que permiten procesar datos vía web o ftp (autogipsy). Los organismos cuyas webs de procesamiento se han considerado más interesantes son NGS (National Geodetic Survey, OPUS), AUSLIG (Australian Government, Geoscience, AUSPOS), SCIGN (Southern California Integrated GPS Network, SCOUT) y NRCAN (Southern California Integrated GPS Network, Precise Point Positioning). En las figuras 7, y 8 se adjuntan, como ejemplo, imágenes de los portales de SCOUT y OPUS.



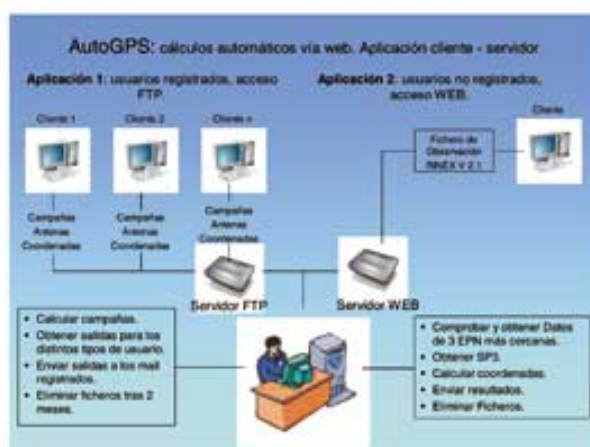
SCOUT

OPUS



5.- La aplicación AutoGPS.

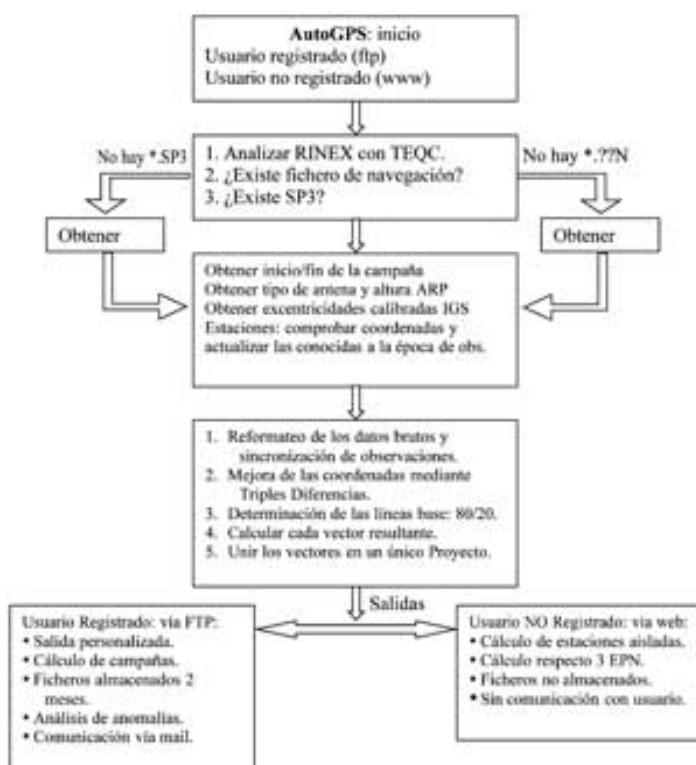
Con objeto de obtener resultados precisos con garantías y marcos comunes, GEOLan DONOSTI SL ha desarrollado una serie de herramientas englobadas en la aplicación AutoGPS para el procesamiento automático "on line". Dicho procesamiento puede ser llevado a cabo por usuarios registrados (servicio ftp) o bien por usuarios no registrados que, vía web, envían un único fichero de observaciones en formato RINEX y, en función de las redes incluidas en la aplicación, se procede de forma automática a obtener los datos comunes de las tres estaciones permanentes más cercanas. La figura 9 muestra el procedimiento general, mientras que la figura 10 muestra el caso para usuarios no registrados (vía web). La figura 11 muestra el flujo del software.



Estructura de entrada de datos.



Entrada de datos para usuarios no registrados.



Flujo de cálculo

Es fundamental destacar que diseñar este tipo de aplicación, en este caso particular, es posible gracias a una línea de colaboración entre la Diputación Foral de Gipuzkoa (b5m.gipuzkoa.net) y la empresa GEOLan DONOSTI SL (www.geolandonosti.com), aunque el proyecto, como se ha mencionado con anterioridad, se encuentre en fase de estudio y viabilidad.

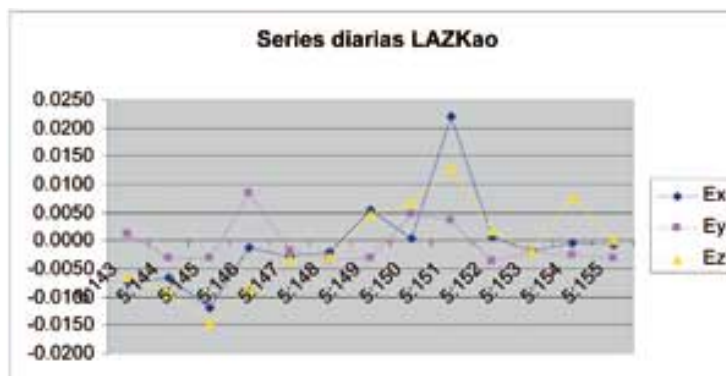
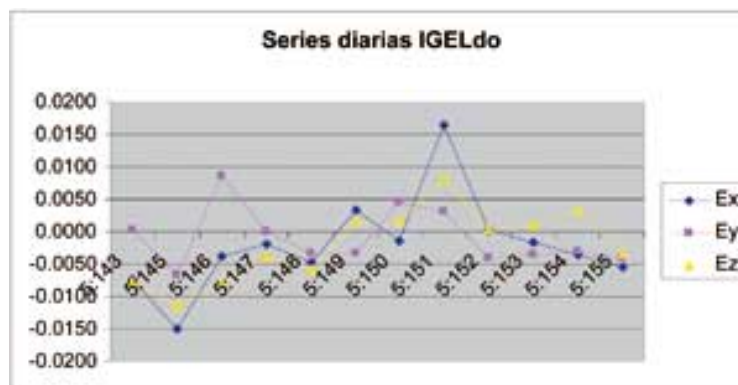
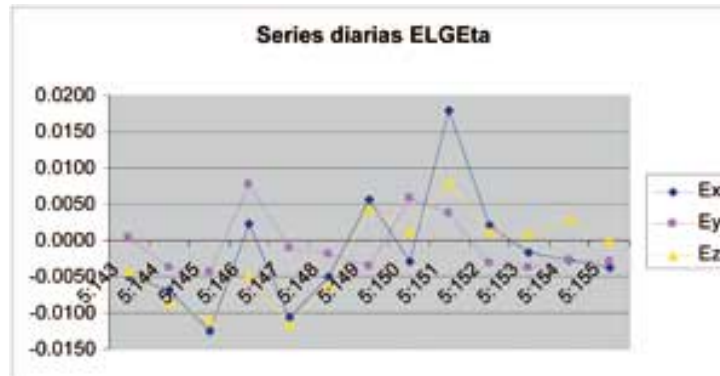
6.- Resultados.

En primer lugar, se adjuntan una serie de gráficos donde se muestran los residuos en las soluciones diarias respecto de la media mensual refinada. Posteriormente se muestra un ejemplo de una típica campaña GPS.

6.1.- Soluciones diarias.

Las series diarias adjuntas (ver figuras 12, 13 y 14) muestran que los resultados, con sesiones de 24 h son excelentes, obteniendo repetibilidades en todas las componentes (X, Y, Z) mejores que 2.5 cm en todos los casos. Las principales características del procesamiento son:

- Solución: promedio de observaciones de un mes completo.
- Refinamiento: eliminación de los valores cuyos residuos en valor absoluto, respecto de la media, sean mayores a 1 cm.
- Estimación de retardos troposféricos cenitales cada 3 horas.



6.2.- Red geodésica de Gipuzkoa.

A continuación se muestra un ejemplo típico de una campaña GPS en Gipuzkoa, con 4 receptores (y 4 estaciones permanentes).

Objetivos:

- UN clavo en cada municipio con coordenadas ETRS89 precisas (2 a 3 cm).
- En municipios mayores de 15.000 hab., 2 clavos.
- Clavos con cota ortométrica obtenida de NP ó NAP si existe.
- Superficie de Referencia altimétrica obtenida a partir de más de 100 puntos distribuidos en el Territorio.
- Clavos con observación gravimétrica (en Proyecto), a partir de la Red Gravimétrica Fundamental de Gipuzkoa (en proceso de cálculo).
- Densificación gravimétrica (en planificación).
- Obtención de modelo de geoide para el Territorio, contrastado con los puntos GPS-Niv con cota NAP precisa (tras la campaña gravimétrica).

Metodología de cálculo de la Red Municipal Básica:

- Cálculos automáticos, sin interacción.
- Cada clavo se ha observado entre 3,5 y 4 horas en sesiones separadas al menos 1 día.
- En este caso, el cálculo se ha realizado vector a vector, siempre desde una estación Permanente (no mínimo camino), debido al elevado multipath en algunas estaciones.

Resultados:

- 63 puntos con repetibilidades en X, Y, Z mejor que 2 cm en todas las componentes (ver fig. 15).
- Red permanente y las 50 estaciones anteriores, fijadas y recalculado el resto con SKI Pro, fijando , en este caso, L1 (vectores de magnitud en torno a 5 km en su mayoría).
- En total existen más de 200 puntos, además de la red Pasiva, con coordenadas ETRS89 con precisiones en torno a los 3 cm. En total, unos 250 puntos en 2.000 km².
- Considerando una distancia de 76 km (máxima diagonal en el Territorio), con un error de 3 cm, la precisión altimétrica obtenida, respecto de la superficie altimétrica calculada es de:
 $3.4\text{mm}\sqrt{k}$, siendo k la distancia nivelada expresada en kilómetros.



Distribución de estaciones con repetibilidades en X, Y, Z mejor que

7.- Conclusiones.

- Las estaciones Permanentes proporcionan una herramienta fundamental en los marcos geodésicos modernos.
- Es fundamental el análisis de las series temporales para obtener, además de velocidades precisas de las estaciones, información acerca de la geodinámica local y regional.
- Los cálculos automatizados han mostrado ser unas herramientas totalmente válidas: diferencias para la red pasiva en torno a 2 cm o mejores con Bernese V 4.0. (Rothacher and Mervart Eds. 1996).
- El cálculo ha de realizarse SIEMPRE en el marco vigente y en la época de observación, ya que a ese es al que se refieren las efemérides.
- La metodología presentada ha mostrado ser muy válida en condiciones de horizontes no demasiado buenos (carreteras de Gipuzkoa y municipios, con obstrucciones).
- La metodología presentada es complementaria a otro tipo de cálculos que se ajusten mejor tanto a las condiciones de observación como a la duración de las sesiones.
- En todos los Proyectos sería preciso exigir coordenadas calculadas con este tipo de procedimiento para, a partir de éstas, calcular el resto de las estaciones.
- Con este tipo de productos, es posible exigir coordenadas unificadas y precisas para todo tipo de Administraciones y Organismos.
- Así, cualquier campaña local que hoy en día se calcula de manera aislada, puede ser añadida a una base de datos global común.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Diputación Foral de Gipuzkoa, muy especialmente a D. Mikel Elorza, D. F. Gainzarain y D. Josemari Aranburu las facilidades dadas para la realización de los trabajos expuestos.

Referencias

- Altamimi, Z., P. Sillard and C. Boucher, 2002: ITRF2000: A new release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth science applications. *J. Geophys. Res.* 107, No B10, 2214, 10.1029/2001JB000056.
- Niell, A.E., 1996: Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 101, No. B2, pp 3227-3246.
- Craymer and Beck (1992): "Session versus Baseline GPS Processing", Proc. of ION GPS-92, 5th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, Albuquerque, NM.
- Leick, A. (1994): "GPS SATELLITE SURVEYING. 2 nd edition". Wiley, New York Chichester Brisbane Toronto Singapore.
- Regidor Gutiérrez, J., Prieto Morín, J. F., Sanz Megía, J. Manuel, Quirós Donate, R., Barbadillo Fernández, A. (2000): "El Proyecto REGENTE". VII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía TOPCAR 2000. Madrid, 16-20 Oct. 2000.
- Zurutuza, J., García, L. y Sevilla, M. J. (2004): "Red de estaciones GPS y estación permanente en Gipuzkoa". 4ª Asamblea hispanolusa de Geodesia y Geofísica, Figueira da Foz, Portugal.